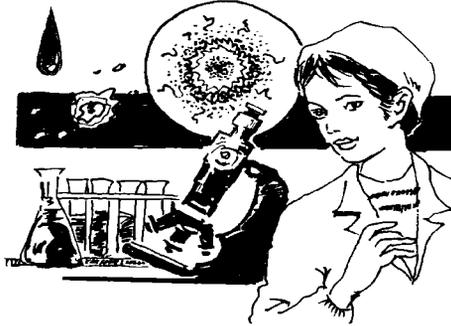


血液粘度与人体疾病

李 新

血液流变学是研究血液流动性和变形性的学科,是物理学与生命科学交叉渗透的新兴边缘学科,是处于生命科学前沿的一门学科。血液流变学分为宏观血液流变学、微观血液流变学和分子血液流变学。在血液流变学的临床指标中,血液粘度,包括全血粘度和血浆粘度是其基本指标或核心指标之一。



单位是帕(Pa),即 $\tau = F/S$ 。液体中某一液层受到剪应力作用将产生形变,称为剪切形变,如图 1 所示。虚线表示液层受力作用时产生的形变,其剪切形变程度可用比值 x/r 来量度,此比值称为剪应变,用 γ 表示。 $\gamma = x/r = \tan \varphi$, 是一个没有单位的量。

流体在管道内流动时,若流速较低,流体质点流动平稳,没有宏观混杂,呈层流。流体作层流时,相接触的两层间因速度差的存在,会相互产生摩擦力,即内摩擦力。由牛顿粘滞定律,内摩擦力 F 的大小与相邻流层的接触面积 S 成正比,与两层间接触处的速度梯度 dv/dr 成正比,即 $F = Sdv/dr$ 。比例常量 η 称为流体粘滞系数或摩擦力系数,亦称为牛顿粘度,简称粘度。在国际单位制中,其单位为 Pa·s(帕斯卡·秒)。

粘度是量度流体粘性大小的物理量,其值取决于流体的性质,与温度有关。一般来说,液体的粘度随温度的升高而减小;而气体的粘度随温度的升高而增大。这是因为液体的粘性主要取决于液体分子间的作用力,气体的粘度主要取决于气体分子不规则热运动的动量交换。像水、乙醇、血液中的血浆等均质流体作层流时,很好地遵循牛顿粘度定律,称之为牛顿流体;反之,称为非牛顿流体。一般含有悬浮物或弥散的液体多为非牛顿流体,如血液,其中就含有大量悬浮的血细胞。

对时间变化率的极限,称为剪变率,用 $\dot{\gamma}$ 表示,即 $\dot{\gamma} = \lim_{t \rightarrow 0} \gamma / t = \lim_{t \rightarrow 0} x / (t \cdot r) = dv/dr$,即流体中任一点任一时间的剪变率就是该点的速度梯度。剪变率的单位为 s^{-1} (1/秒)。在定常流动中,各处的剪变率是不随时间变化的,两相邻层间速度相差愈大,则该处的剪变率愈大。由此,牛顿粘滞定律也可表示为 $\tau = \eta \dot{\gamma}$,在血液流变学中常用此式。

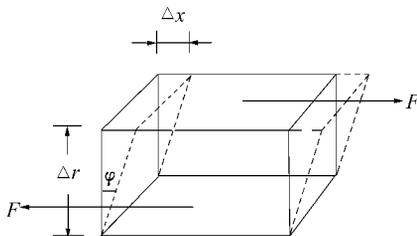


图1 液层的形变图

流体中,内摩擦力 F 是沿液层的切向,而作用在单位面积液层上的切向力称为剪应力,用 τ 表示,

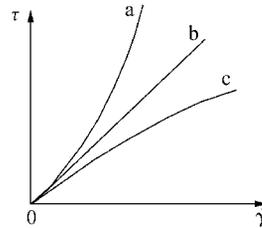


图2 流动曲线

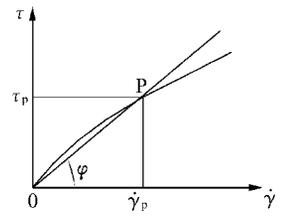


图3 拟塑液体的表观粘度 η_a

牛顿粘滞定律的两种形式,分别从流体流动状态和流体形变的角度分析粘性流体层流的结果。对牛顿流体, $\eta = \tau / \dot{\gamma}$, 值与剪变率无关,为常量。对非牛顿流体,剪应力与剪变率之间为非正比关系,而是 τ 的函数,一般形式为 $\tau = f(\dot{\gamma})$ 。

$\tau - \dot{\gamma}$ 关系曲线可以表示液体流动规律,称为流动曲线,不同曲线表示不同液体流变性的差别,如图 2 所示。直线 b 为牛顿流体的流动曲线,表示 τ 与 $\dot{\gamma}$ 成正比,即粘度为定值。曲线 a 与 c 均为非牛顿流体的流动曲线。曲线 a 的斜率随 $\dot{\gamma}$ 的增大而增大,即非牛顿液体的粘度随剪变率的增大而增大,这类液体称为膨胀液体,如染料的水溶液、某些胶体溶液。曲线 c 的斜率随 $\dot{\gamma}$ 的增大而减小,即非牛顿液体的粘度随剪变率的增大而减小,这类液体称为拟塑性液体,如果忽略血液的屈服应力,血液就属于拟塑性液

体。

非牛顿液体粘度是变化的,其流动曲线上任一点 P 的横坐标为 $\dot{\gamma}_p$,如图 3 所示,P 点切线的斜率值 $df(\dot{\gamma})/d\dot{\gamma}$,就是剪变率为 $\dot{\gamma}_p$ 时液体的粘度,也称为微分粘度。不同剪变率 $\dot{\gamma}$ 对应曲线上不同点,不同点切线的斜率不同,即微分粘度不同。液体的微分粘度难以用仪器测量,通常改用便于测量的表观粘度 η_a , $\eta_a = \tau/\dot{\gamma}_p = \tan \theta$ 。表观粘度的单位与牛顿粘度的单位相同,且非牛顿液体的表观粘度也是剪变率 $\dot{\gamma}$ 的函数。上式表明,对拟塑性液体,随着 $\dot{\gamma}$ 增大, θ 角逐渐变小,即表观粘度随着 $\dot{\gamma}$ 增大而减小。血液的表观粘度就是随着 $\dot{\gamma}$ 的增大而减小的,如图 4 所示。

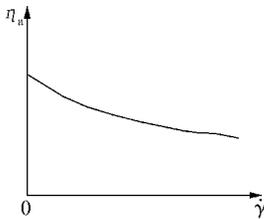


图 4 血液的表观粘度 η_a 与 $\dot{\gamma}$ 关系

液体粘度的测量,常用毛细管法和旋转粘度计。毛细管法是依据泊肃叶定律设计而成,常用的仪器是奥氏粘度计,通过比较的方法,即测量相同体积的待测液和已知粘度的标准液通过同一个毛细管所需的时间来测量液体的粘度,主要用于测量牛顿液体,如血浆、血清粘度。若用于非牛顿液体,由于毛细管中流体的剪变率随着管径 r 变化,故测出的粘度是等效粘度而非表观粘度。

旋转粘度计是以牛顿粘滞定律为依据设计的,常用的有锥-板粘度计和圆筒粘度计两种。以圆筒粘度计为例,其剪变率 $\dot{\gamma}$ 与圆筒的转速成正比,由此可获得不同的剪变率的大小,一般剪变率范围为 $1 \sim 200s^{-1}$ 。而粘度值 η 又与圆筒转速成反比,且与圆筒受的粘性力矩有关,由此可得出系列 η 值和相应的 $\dot{\gamma}$ 值,并做出 $\eta-\dot{\gamma}$ 曲线。旋转圆筒粘度计最明显的优点是其样品中有确定的剪变率,因此它是检测非牛顿液体粘度的理想仪器,当然也可检测牛顿液体的粘度,不过不如毛细管粘度计检测更理想。

血液属于非牛顿流体,无论是否明确指出,血液的粘度均为表观粘度。血液的表观粘度与血液的组分、组分的性质、组分之间的相互作用有关,还与血液的流动状态、血液的温度等多种因素有关,影响血

液粘度的主要因素有剪变率、血细胞压积、红细胞聚集性、红细胞变形性和血浆粘度等。在临床中,常需测定高、中、低剪变率的血液粘度。高剪变率(如 $200s^{-1}$)下的血液粘度可反映细胞变形时的血液粘度;中剪变率(如 $60s^{-1}$)下的粘度可反映红细胞解聚后又无多少变形时的血液粘度;低剪变率($1s^{-1}$ 、 $5s^{-1}$)的粘度可反映红细胞聚集时的血液粘度。

我国血液流变学基础研究和临床应用起步较晚,但发展迅速,尤其是对血液高粘滞综合症的研究。随着研究的深入,了解到许多疾病可导致血液粘度异常,而血液粘度的变化又可作为许多疾病的诊断、鉴别、疗效观察、预后判断及复发预测的重要指标。人体几乎每个器官、每个系统的疾病都与血液流变学相关,心血管疾病、呼吸系统疾病、消化系统疾病、血液系统疾病、中枢神经系统疾病、内分泌系统疾病、恶性肿瘤等均有血液流变参数的改变。目前,临床上已采用许多方法与措施来降低血液的粘度,增加流动性来治疗许多原发或继发的疾病。血液流变学的研究主要是通过病例分析和动物模型试验两种方法。在临床应用中,通过病例分析研究疾病的血液流变改变。有许多疾病,如心梗、脑梗、冠心病、高血压、肺心病等大多数患者呈高粘滞综合症;此外,对治疗高粘滞综合症的药物或治疗方法做了大量工作,发明了几十种单味中药、复方、制剂及许多化学药品和一些治疗方法如血液稀释法、血浆置换疗法等。

在动物模型试验中,常用 0.1% 的盐酸肾上腺素加冰水、0.1% 氟氢可的松加 0.1% 盐酸肾上腺素以及 15% 高分子右旋糖酐生理盐水液体等来建造血液高粘滞动物模型后,再进行药物和其他因素的抗高粘滞效果试验。通过模型实验,已明确复方丹参、川芎嗪、磁场等具有抗血液高粘滞的作用。此外,利用血液高粘滞动物模型试验证明活血化瘀药物具有良好的抗高粘滞作用。

血液的粘度是血液流变学的重要指标之一。近几年来,血液流变学有很大的发展与进步,主要集中在分子流变学研究以及血液流变学与微循环的基础与临床研究、药物对血液流变学的影响等领域。随着研究的深入、实验方法的规范、质控标准的完善、仪器的更新,必将使血液流变学的研究与应用提高到一个新水平。

(成都四川省卫生管理干部学院 610041)